

VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING

LETECKÝ ÚSTAV

INSTITUTE OF AEROSPACE ENGINEERING

**SOUČASNÁ SITUACE VE VYUŽÍVÁNÍ KMITOČTOVÉHO
PÁSMO 108 – 137 MHZ V CIVILNÍM A VOJENSKÉM
LETECTVÍ**

PRESENT SITUATION ON CIVILIAN & MILITARY AERONAUTICAL USE OF THE 108 - 137
MHZ FREQUENCY BAND

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Václav Vidoň

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

doc. Ing. Slavomír Vosecký, CSc.

BRNO 2017

Zadání bakalářské práce

Ústav: Letecký ústav
Student: **Václav Vidoň**
Studijní program: Strojírenství
Studijní obor: Profesionální pilot
Vedoucí práce: **doc. Ing. Slavomír Vosecký, CSc.**
Akademický rok: 2016/17

Ředitel ústavu Vám v souladu se zákonem č.111/1998 o vysokých školách a se Studijním a zkušebním řádem VUT v Brně určuje následující téma bakalářské práce:

Současná situace ve využívání kmitočtového pásma 108 – 137 MHz v civilním a vojenském letectví

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Vytvořit stručný přehled (studijní pomůcku) pro předmět Radionavigace I, část radiová komunikace.

Cíle bakalářské práce:

- Rozdělení kmitočtového pásma pro různé letecké služby.
- Účely nabízených leteckých služeb.
- Tendence využití tohoto leteckého kmitočtového pásma v budoucnosti.

Seznam doporučené literatury:

Letecké předpisy o civilní letecké telekomunikační službě: svazek I - Radionavigační prostředky (L10/I), svazek II - Spojovací postupy (L 10/II).

Termín odevzdání bakalářské práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2016/17

V Brně, dne

L. S.

doc. Ing. Jaroslav Juračka, Ph.D.
ředitel ústavu

doc. Ing. Jaroslav Katolický, Ph.D.
děkan fakulty

Abstrakt

Předkládaná bakalářská práce je zaměřena na shrnutí a popis navigačních a komunikačních zařízení, sloužících letovému provozu v kmitočtovém pásmu 108 – 137 MHz. Dále se popisuje technické specifikace a funkce jednotlivých zařízení, jakožto i stručnou historii a vývoj těchto zařízení, kterým od svého uvedení do provozu prošla.

Klíčová slova:

radionavigační zařízení, VKV, kmitočtové pásmo, civilní a vojenské letectví, radiostanice, VOR, TACAN, rádio

Abstract

This bachelor thesis is focused on the summary and description of navigation and communication devices serving air navigation services in the frequency band 108 - 137 MHz. It also describes the technical specifications and the function of these individual devices, as well as the brief history and development that has been undergoing since they were put into operation.

Keywords:

radionavigational device, VHF, frequency band, civil and military aviation, radiostation, VOR, TACAN, radio

Bibliografická citace mé práce

VIDOŇ, V. *Současná situace ve využívání kmitočtového pásma 108 – 137 MHz v civilním a vojenském letectví*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2017. 36 s. Vedoucí bakalářské práce doc. Ing. Slavomír Vosecký, CSc..

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem tuto bakalářskou práci na téma: „Současná situace ve využívání kmitočtového pásma 108 – 137 MHz v civilním a vojenském letectví“, vypracoval samostatně pod vedením doc. Ing. Slavomíra Voseckého, CSc., na základě dostupné literatury a dostupných informačních zdrojů, které jsem všechny ocitoval v seznamu použité literatury.

V Brně dne.....

podpis.....

Poděkování

Děkuji vedoucímu mé bakalářské práce, panu doc. Ing. Slavomíru Voseckému, CSc., za ochotu, jeho čas, rady, zkušenosti, připomínky a za odborné vedení této práce.

Dále bych rád poděkoval všem, kteří se jakkoli podíleli na úspěšném vytvoření a dokončení této bakalářské práce, mé rodině za podporu a Ing. Mgr. Pavlu Imřišovi, Ph.D. za jeho rady a pomoc během celého studia.

OBSAH

| | | |
|---|---|----|
| 1 | ÚVOD | 9 |
| | Cíle práce | 10 |
| 2 | ROZDĚLENÍ A VLASTNOSTI PÁSMO 108 – 137 MHz – RADIONAVIGAČNÍ PRVKY | 11 |
| | 2.1 Šíření vln a vlastnosti pásma VKV | 11 |
| | 2.2 Radionavigační prvky | 12 |
| | 2.3 Všesměrový maják VKV (VOR) | 12 |
| | 2.3.1 Konstrukce | 12 |
| | 2.3.2 Princip činnosti | 14 |
| | 2.3.3 Vliv na kmitočtové pásmo 108 – 137 MHz | 15 |
| | 2.3.4 Druhy vysílačů VOR a rozdíly mezi nimi | 16 |
| | 2.4 Systém přesného přiblížení na přistání ILS | 16 |
| | 2.4.1 Konstrukce | 16 |
| | 2.4.2 Princip činnosti | 19 |
| | 2.4.3 Vliv na kmitočtové pásmo 108 – 137 MHz | 19 |
| | 2.5 Systém TACAN | 20 |
| | 2.5.1 Konstrukce | 20 |
| | 2.5.2 Princip činnosti | 21 |
| | 2.5.3 Vliv na kmitočtové pásmo 108 – 137 MHz | 22 |
| 3 | ROZDĚLENÍ A VLASTNOSTI PÁSMO 108 – 137 MHz – KOMUNIKAČNÍ PRVKY | 23 |
| | 3.1 Komunikační prostředky VKV | 23 |
| | 3.1.1 Konstrukce | 24 |
| | 3.1.2 Princip činnosti | 26 |
| | 3.1.3 Vliv na kmitočtové pásmo 108 – 137 MHz | 28 |
| 4 | ZÁVĚR | 30 |
| | Seznam použité tištěné odborné literatury | 31 |
| | Seznam použité elektronické odborné literatury | 33 |
| | Seznam použitých zkratk česky | 34 |
| | Seznam použitých zkratk anglicky | 35 |
| | Seznam použitých obrázků | 36 |
| | Seznam příloh | 36 |

1 ÚVOD

V současné době tvoří radionavigační prostředky nepostradatelný způsob navigace v civilním a vojenském letectví. Je tedy nutnost neustále vyvíjet a zlepšovat stávající zařízení, ať už se jedná o oblast spolehlivosti, přesnosti, rychlosti či kvality. Musíme však mít na paměti, že ačkoli se radionavigační technologie neustále rozvíjí, nejsou bezchybné. Při vývoji systémů musíme tedy brát ohledy především na spolehlivost a přesnost těchto technologií. Největším problémem současnosti je zaplnění pásma VKV (VHF) různými komunikačními a radionavigačními signály, zejména radiomajáky VOR, LLZ ILS či komunikací pomocí palubní radiostanice.

Tato bakalářská práce se snaží shrnout současnou situaci v pásmu VKV, přesněji rozsah frekvencí 108-137 MHz a to tak, aby byla popsána jak současná situace, tak problémy v tohoto pásma.

V první polovině práce jsem se zaměřil na současný stav, vlastnosti a rozdělení pásma 108 – 137 MHz, především na používané navigační technologie, jejich technické specifikace, princip činnosti a konstrukci.

Druhá polovina práce pojednává o stavu pásma 108 – 137 MHz, především o zaplnění tohoto rozsahu telekomunikačními signály. V této části je také probíráno současné rozvržení pásma pro různé letecké služby podle ITU.

V závěru práce jsem shrnul probíhající přechod na šířku kanálu 8,33 kHz ze šířky kanálu 25 kHz.

Cíle práce

Cílem této bakalářské práce je vypracovat a sestavit příručku – studijní pomůcku pro piloty kurzu Radionavigace, ale i pro odbornou veřejnost.

V práci je popsáno rozvržení pásma 108 – 137 MHz, podrobně zpracovány technické, konstrukční a ostatní specifikace jednotlivých radionavigačních a komunikačních prostředků a jejich vývoj, jakožto i problémy, se kterými se toto pásmo v současnosti potýká.

2 ROZDĚLENÍ A VLASTNOSTI PÁSMO 108 – 137 MHz - RADIONAVIGAČNÍ PRVKY

Pásmo 108 – 137 MHz v současné době rozdělujeme na 2 části – spodní část spektra, rozdělenou po 50 kHz a vrchní část spektra, rozdělenou po 25 kHz, respektive 8.33 kHz.

Ve spodní část spektra je rozsah frekvencí 108 – 117.95 MHz (tedy přibližně spodních 10 MHz pásma). Toto spektrum je rozděleno na 200 kanálů po 50 kHz a je využíváno především pro radionavigační prostředky VOR, TACAN a pro kurzový maják přesného přibližovacího systému ILS.

V horní části spektra, ohraničeného frekvencemi 118 – 137.975 MHz fungují letecké a pozemní radiostanice, zajišťující spojení a komunikaci letadlo-letadlo a zem – letadlo. Hlavní rozdíl oproti spodní části je ten, že kanálů je 760 a jsou rozděleny po 25 kHz. V současnosti se v Evropě přechází na rozdělení tohoto spektra na kanály po 8.33 kHz. Této problematice se detailněji věnuji v druhé a třetí části práce.

2.1 Šíření vln a vlastnosti pásma VKV

Délka vlny pásma VKV se pohybuje pod 10 metrů a šíří se povětšinou přízemní přímou vlnou přímočaře a v dosahu přímé viditelnosti v troposféře. Po dosažení ionosféry vlny pásma VKV unikají do kosmu, nebo jsou (za určitých podmínek) odraženy od vrstvy E nebo F2 ionosféry a to zejména za velmi pěkných letních dnů. Tento jev nazýváme troposférický rozptyl (scatter), nebo také superrefrakce. Tím nám ale nastávají problémy, vztahující se s tímto druhem šíření v troposféře, a to zejména značný vliv terénu na šíření VKV vln. Vlna VKV se totiž od překážky odráží a za místem odrazu vzniká stín. Překážkou pro vlny je i přirozené zaoblení zemského povrchu. Při nerovnosti povrchu se tedy vlna (během šíření) láme a ohýbá a vzdaluje se od zemského povrchu nerovnoměrněji, čímž vzniká tzv. atmosférický lom, což je případ, kdy se rádiová vlna odrazí od nerovnosti (povrchu Země), pokračuje dále, přičemž její dosah se může až násobně zvýšit.

Atmosférický lom si můžeme zjednodušeně vysvětlit na příkladu gumové kuličky a povrchu Země. Kulička je hozena z určité výšky směrem k Zemi, pod určitým úhlem. Po čase dosáhne povrchu Země, dráha (vlna) se ohne a má-li kulička dostatečnou dopřednou energii, tak se od povrchu odrazí a pokračuje dále. Dolet takové kuličky se tedy značně prodloužil.

V případě rádiových vln musíme ovšem počítat s útlumem rádiové vlny při odrazu, který můžeme do jisté míry eliminovat a dosáhnout tak celkem dlouhých dosahů. Delšího dosahu můžeme tedy dosáhnout těmito způsoby:

- zvýšením vyzařovaného výkonu anténou (čímž ovšem začneme rušit okolí antény)
- umístěním antény vysílače co nejvýše nad povrch Země
- vytvořením retranslačního bodu - převaděče

- použitím vhodné odrazové plochy pro signál

2.2 Radionavigační prvky

V pásmu 108 – 137 MHz pracuje značné množství různých vysílačů, ať už leteckých, či neleteckých, civilních i vojenských.

Radionavigační prostředky patřící do pásma 108 – 137 MHz jsou:

- všesměrový maják VKV
- kurzový maják ILS
- systém TACAN

2.3 Všesměrový maják VKV (VOR)

Všesměrový maják VKV, obecně nazývaný VOR (VHF Omni Range) je maják, pracující ve spodní části kmitočtového pásma 108 – 137 MHz.

„Maják VOR musí pracovat v pásmu kmitočtů 111,975 MHz až 117,975 MHz. V pásmu 108 až 111,975 MHz mohou majáky VOR pracovat pouze tehdy, jsou-li dodržena ust. 4.2.1 a 4.2.3.1 Hlavy 4 Předpisu L 10/V. Nejvyšší přidělitelný kmitočet je 117,950 MHz, rozteč jednotlivých kanálů až do tohoto kmitočtu je 50 kHz, počínaje od nejvyššího přiděleného kmitočtu. V těch prostorech, kde se obvykle používá rozteč kanálů 100 nebo 200 kHz, stabilita nosného kmitočtu se požaduje $\pm 5 \cdot 10^{-5}$ “

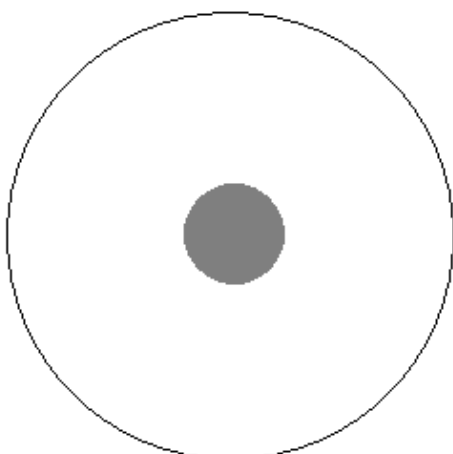
(Letecký předpis L10/I Radionavigační prostředky, str. 16, In: Ministerstvo dopravy České republiky, 2003. Dostupné z: <https://lis.rlp.cz/predpisy/predpisy/index.htm>)

2.3.1 Konstrukce

Vysílač VOR je osazen dvojicí antén – všesměrovou (unipól) a směrovou (bipól). Všesměrová (jak již název napovídá) vysílá do všech směrů, má tedy SVD = 1, tedy kruhového tvaru.

Směrová anténa vysílače VOR má tvar SVD = $\cos \gamma$, výsledné SVD má tedy tvar tzv. „osmičkový“.

Co se samotné konstrukce vysílače VOR týče, dělí se na 2 části: pozemní vysílač a palubní vybavení. Na palubě letadla se obvykle nachází přijímač a indikátor. Přijímač přijme signál od vysílače VOR, vyčte z něj radián (popsáno níže) a odešle tato data na palubní indikátor, případně do palubního počítače FMC, je-li k dispozici.



Směrový vyzařovací diagram SVD = 1
všesměrového unipólu vysílače VOR.

Obr. 1.1



Indikátor radiánu VOR.

Obr. 1.2

Zobrazovaná informace na palubním indikátoru vždy zobrazuje QDM (magnetický kurz od letadla k majáku). Pilot si může standartně na indikátoru navolit, chce-li letět na radiálu „to“ nebo „from“. Navolí-li si na indikátoru „to“, indikátor ukazuje magnetický kurz k vysílači VOR, letí-li pilot po tomto radiálu, doletí přímo k vysílači. Naopak, je-li zvoleno „from“, tak letoun letí po zvoleném radiálu od majáku VOR. Nastavení „to/from“ a hledání radiánu je prováděno buď manuálně, otáčením kolečka OBS (Omni Bearing Selector; Obr. 1.2), nebo je řízeno softwarově. O softwarové řízení se stará počítač FMC, který je součástí palubního systému FMS. Počítač na základě přijatého signálu vypočte radián, který posléze zobrazí na displaye v pilotní kabině, pilot si také může volit mezi režimy „to/from“.

Pozemní část vysílače se skládá z dvou typů antén (popsáno výše), obvykle z jednoho všesměrového unipólu a množství směrových antén.



Pozemní část vysílače VOR. VOR NIE v německém Nienburgu.

Obr. 13

2.3.2 Princip činnosti

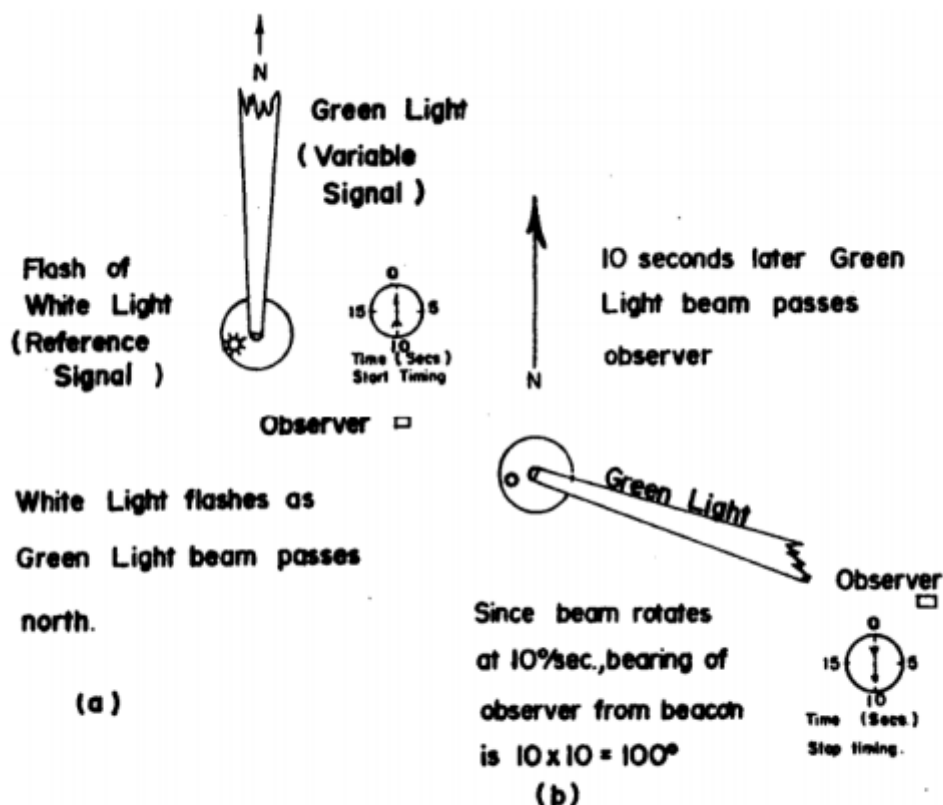
Vysílač VOR vysílá dva signály, označované jako měřící (variable) a referenční (reference).

Princip měření pomocí těchto signálů lze nejlépe pochopit na příkladu pozorovatele a majáku. Máme maják, který je z určitého místa pozorován pozorovatelem. Tento maják pravidelně vysílá záblesky bílého světla všesměrově (tj. záblesk je vyslán do všech směrů ve stejný čas; $SVD = 1$). Spolu s tímto bílým světlem vysílá i kužel zeleného světla, který je ovšem vyslán směrově tak, že rotuje rychlostí 10 stupňů za sekundu ($1800 \text{ r.p.m} = 30 \text{ Hz}$).

Pozorovatel tedy vidí záblesk bílého světla, vysílaného všesměrově, načež začne počítat čas do zpozorování záblesku zeleného světla (tedy do chvíle, než kužel zeleného světla doputuje k pozorovateli). Když je zpozorován záblesk zeleného světla, pozorovatel vynásobí naměřený čas rychlostí rotace kuželu a dostane tak informaci o radiálu, na kterém se vůči majáku nachází. Naměří-li pozorovatel například 10 sekund, tak při rychlosti rotace 10 stupňů za sekundu je vypočítaný radiál $= 10 \times 10 = 100^\circ$, z majáku se tedy musíme dívat pod radiálem 100° , abychom pozorovatele viděli. Z tohoto je jasné, že toto měření nám dá informaci o QDR (kurzu od majáku k pozorovateli) a ne požadovanou informaci o QDM (od pozorovatele k majáku). Musíme tedy k naměřenému QDR přičíst 180° , abychom QDM dostali.

$$QDM = QDR + 180^\circ = 100 + 180 = 280^\circ$$

Pozorovatel musí tedy k majáku letět kurzem 280° , aby se k němu dostal. Vše je znázorněno na obrázku 1.4 níže.



Princip činnosti radiomajáku VOR na příkladu pozorovatele a majáku.

Obr. 1.4

Vysílač VOR tedy funguje na podobném principu, jako výše popsany příklad pozorovatel/maják. Je vyslán referenční (opěrný) signál všesměrově a měřicí signál směrově. Když je na palubě přijat referenční signál a měřicí signál, je změřen rozdíl fází přijatých signálů, čímž získáme fázový rozdíl těchto signálů, odpovídající informaci QDR. Počítač následně přičte 180° ke QDR, abychom dostali QDM, které se následně zobrazí na palubním indikátoru.

2.3.3 Vliv na kmitočtové pásmo 108 – 137 MHz

V současnosti vysílají vysílače VOR v pásmu 108 MHz až 117,975 MHz s roztečí 50 kHz, což nám dává použitelných 160 kanálů. O spodní část tohoto spektra (108 – 112 MHz) se navíc vysílač VOR dělí s vysílači LLZ ILS. Vše je navrženo tak, že vysílačům VOR náleží tzv. sudé kanály – kanály, které mají na prvním místě za desetinou čárkou *sudé* číslo, zatímco vysílačům LLZ ILS náleží kanály, které mají na prvním místě za desetinnou čárkou *liché* číslo. Příklady těchto frekvencí pro VOR tedy jsou: 108,05 MHz, 111,45 MHz, 109,50 MHz. Nula je v tomto případě považována za sudé číslo.

Z tohoto je nám jasné, že vysílače VOR značně zaplňují pásmo VKV svými signály. Hlavní problém je však v současnosti malé množství kanálů, které můžeme pro vysílače použít. Vysílače jsou většinou značně vzdáleny proto, že dosah jednotlivých vysílačů je značný (až kolem 200 NM) a také proto, že při použití příliš blízkých frekvencí těchto dvou vysílačů by

mohlo dojít k nechtěnému rušení a prolínání signálů a tím k nesprávné funkci palubních radionavigačních systému.

V České republice v současnosti najdeme pouze 9 vysílačů VOR. Jsou to radiomajáky používané buď k přiblížení na přistání, nebo pro traťovou navigaci. Jejich seznam, označení a pozici najdete v Příloze 1. Na rozlohu 8760,88 km² tedy v České republice připadá jeden vysílač VOR, při srovnání s např. Spolkovou republikou Německo, kde jeden vysílač VOR připadá na přibližně 5852,83 km² vidíme, že v České republice není pokrytí signály vysílačů VOR zdaleka takové, jaké by být mohlo, nebo je v cizině.

Díváme-li se na problém pásma VKV z pohledu pilota, zjišťujeme, že systém VOR má mnoho výhod i nevýhod. Mezi hlavní výhody můžeme řadit přesnost, dosah, náklady na údržbu a pořízení, jednoduchost systému a další. Hlavní nevýhody jsou především nutnost neustálé přímé rádiové viditelnosti na trase vysílač – letadlo a malý počet vysílačů na území České republiky.

2.3.4 Druhy vysílačů VOR a rozdíly mezi nimi

V současnosti máme několik druhů vysílačů VOR, rozlišujeme je podle funkce a podle způsobu činnosti. Rozdělujeme-li vysílače podle způsobu činnosti, pak máme dva druhy vysílačů VOR – DVOR a CVOR. Rozdíly v jejich funkčnosti jsou zvláště v opačném způsobu modulace referenčního a měřicího signálu, v přesnosti, spolehlivosti a ceně. Palubní zařízení pracuje s oběma typy vysílačů stejně, respektive nepozná o který typ zařízení se jedná.

Podle funkce potom VORY rozdělujeme na VOT (TEST VOR; pro kontrolu palubních zařízení), TVOR (TERMINAL VOR; na velkých letištích; nižší dosah a výkon), VORTAC (spojení VOR + TACAN) a další. Mohou se vyskytnout i kombinace – např. CTVORTAC (Convencional VOR + Terminal VOR TACAN).

2.4 Systém přesného přiblížení na přistání ILS

Přesný přiblížovací maják ILS (Instrumented Landing System), zavedený v 50. letech 20. století (certifikován ICAO 1949) je systém, který pomáhá a slouží pilotům pro přesné přiblížení a přistání na mnoha letištích po celém světě.

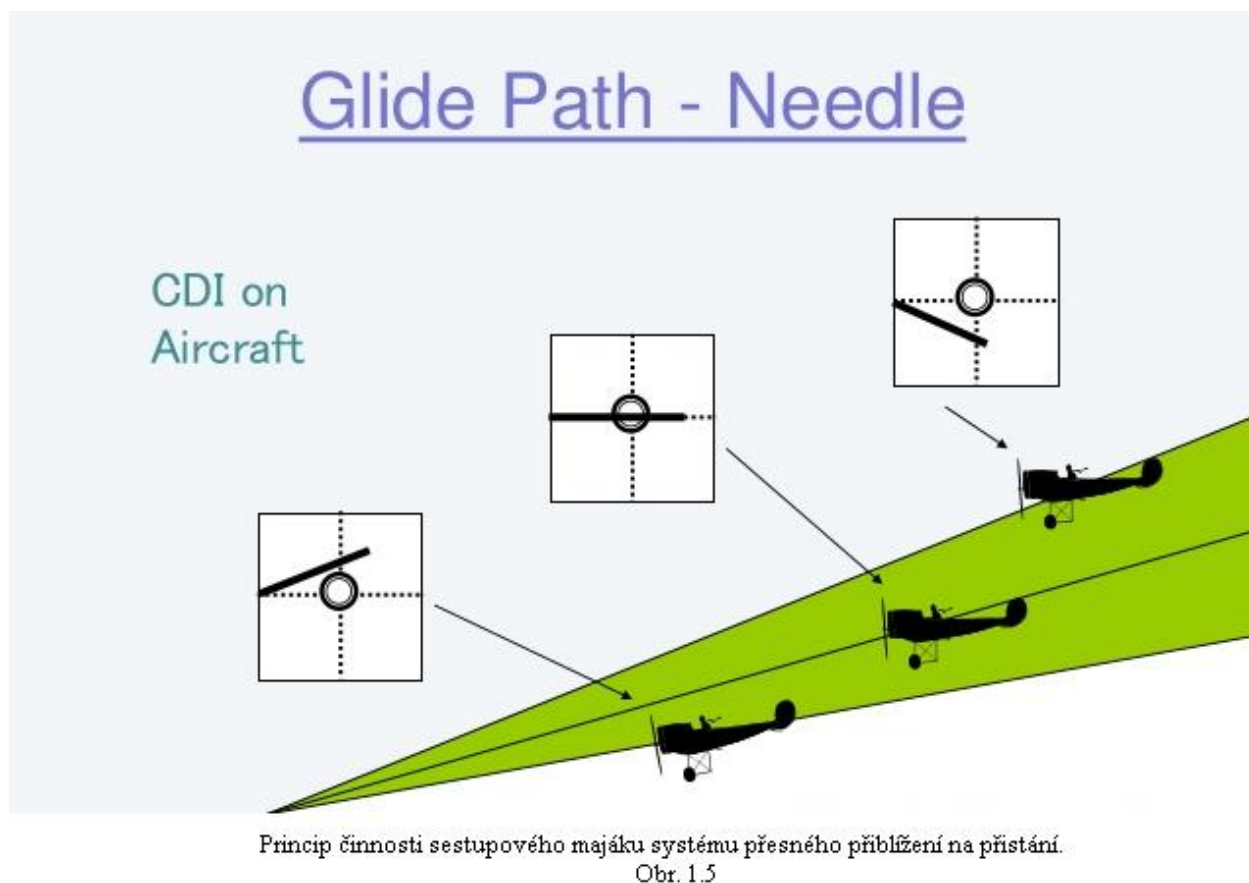
Pracuje v pásmu VKV, ve stejné části, jako systém VOR (108 – 112 MHz). Frekvence, rozteč a ostatní parametry jsou přesněji popsány v odstavci 2.3.3.

2.4.1 Konstrukce

Systém ILS je v současnosti tvořen čtyřmi hlavními částmi: sestupovým majákem, kurzovým majákem, systémem polohových návěstidel a přístrojovým vybavením letadla.

Sestupový maják ILS, neboli GP ILS (Glide Path ILS) je prostředkem pro zjištění vertikální části sestupové trajektorie při přístrojovém přistání. Je tvořen dvěma vysílači, vysílajícími dva vzájemně se překrývající „laloky“, vyzařovanými vertikálně. Vrchní je modulován tónem 90 Hz, spodní tónem 150 Hz. Tyto laloky se protínají a v místech tohoto protnutí vzniká 2D přímka, po které pilot při přístrojovém přiblížení sestupuje. Vše je mu indikováno na CDI (v jednodušší variantě je používán stejný CDI, jako pro navigaci pomocí VOR), nebo jsou data o sestupové rovině odesílána do palubní FMS.

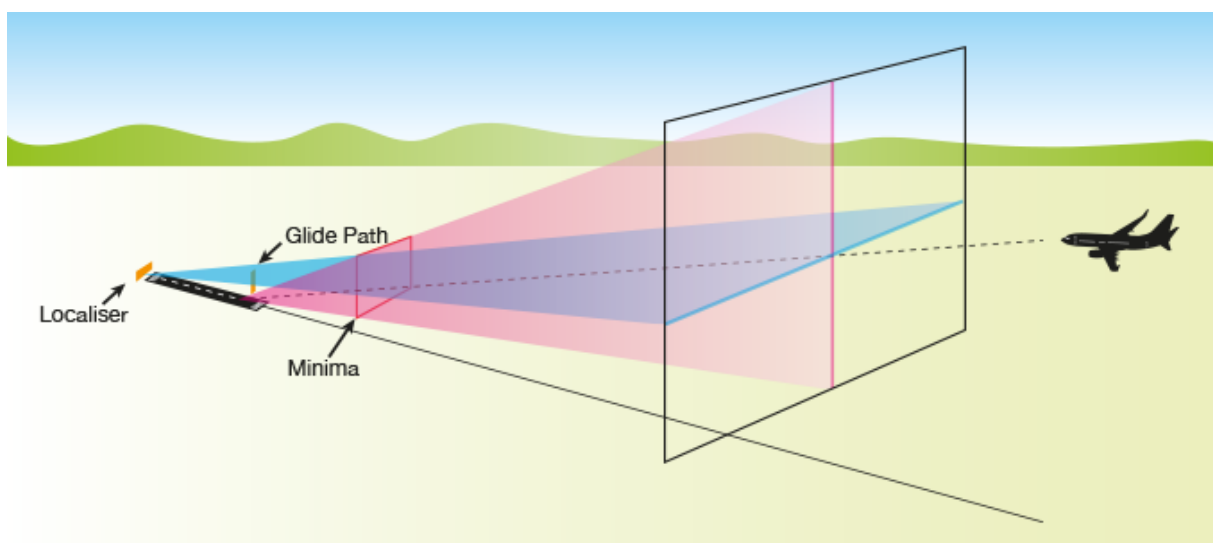
Když je pilot přímo na sestupové rovině, ukazuje horizontální ručička na CDI na střed tohoto CDI. Když se ručička odchýlí na CDI nahoru, je pilotovi indikováno „leť nahoru!“, nacházíme se tedy pod sestupovou rovinou. Naopak, je-li horizontální ručička pod středem CDI, je to informace pro pilota, že se nachází nad sestupovou rovinou a měl by se na sestupovou rovinu vrátit. Vše je zobrazeno na obrázku 1.5 níže.



SVD tedy tvoří dva vertikálně vyzařované laloky, jak je vidět na obrázku 1.6.

Kurzový maják ILS (Localizer ILS) je druhou částí přesného přiblížovacího systému. Má obdobnou funkci, jako maják sestupové roviny – také vyzařuje dva laloky, na rozdíl od něj ale tyto laloky nevyzařuje vertikálně, ale horizontálně. Levý lalok je modulován tónem 90 Hz, pravý 150 Hz (poloha laloků brána z pohledu přistávajícího letadla). Tyto laloky se protínají a v místech protnutí se tvoří kurzová rovina, které by se mělo letadlo držet při přístrojovém přiblížení.

Spolu se sestupovou rovinou máme tedy dvě 2D roviny, vzájemně natočené o 90° , tvořící myšlenou přímku v prostoru, po které sestupujeme. SVD je zobrazeno na obrázku 1.5 (spolu s SVD sestupové roviny).



SVD sestupové roviny (červená plocha) a SVD kurzového majáku (modrá plocha).

Obr. 1.5

Polohová návestidla (Marker ILS) jsou třetí (a nejstarší) pozemní částí systému ILS. Systém návestidel byl vytvořen a schválen v roce 1949, jako zařízení, umožňující zjistit vzdálenost letadla od přistávací dráhy, případně od jiného referenčního bodu.

Systém nejčastěji tvoří dvě až tři návestidla (markery), která jsou rozmístěna v přesně stanovené vzdálenosti od referenčního bodu. Tyto markery se nazývají Outer Marker (OM), Middle Marker (MM) a Inner Marker (IM). Vyzařují vertikální SVD, různých tvarů a výšek. Průlet těchto návestidel je pilotovi a FMS signalizován zvukově a vizuálně.

| Parametr | OM | MM | IM |
|--|-------------|-------------|------------|
| Modulační kmitočet [Hz] | 400 | 1300 | 3000 |
| Modulační signál | ----- | - . - . - . | |
| Vzdálenost majáku od prahu VPD [m] | 7200 m | 1050 m | 75-400 m |
| Krytí podél sestupové osy ($E > 1,5 \text{ uV/m}$) [m] | 600 +/- 200 | 300 +/- 100 | 150 +/- 50 |
| Výška při letu po sestupové ose [m] | 300 m | 60 m | 19 m |

Tabulka parametrů polohových návestidel systému přesného přiblížení na přistání

Obr. 1.6

Přístrojové vybavení pro přesné přiblížení může mít (stejně jako u vysílačů VOR) mnoho podob. Ve své nejčastější variantě je tvořeno anténou, která přijímá informace na naladěné VKV frekvenci, přijímačem, který převádí informace, přijaté anténou na signál pro palubní

indikátor CDI. Indikátor CDI (Course Deviation Indicator) je většinou stejný pro ILS i pro VOR a nejčastěji je to tzv. dvoutečkový display. Odchylku indikují dvě ručičky, které pilotovi ukazují, kde se vůči sestupové a kurzové rovině nachází. Horizontální ručička slouží pro indikaci odchylky vůči sestupové rovině, vektikálně orientovaná ručička pro indikaci odchylky vůči kurzové rovině. Ukazuje-li např. vertikální ručička odchylku od středu vpravo, je to indikace pilotovi, že má letět vpravo. Více je princip funkce CDI popsán v odstavci sestupové roviny výše a je znázorněn na obrázcích 1.2 a 1.5.

Ve své pokročilejší variantě je informace z přijímače odesílána do palubního systému FMS, který převádí a vypočítává informace na data pro zobrazení na displaye v pilotní kabině. Tento systém umožňuje použití pokročilejších funkcí systémů letadla, jako například automatické vedení po sestupové rovině autopilotem.

2.4.2 Princip činnosti

Jak již bylo popsáno výše, systém přesného přiblížení na přistání je tvořen celkem čtyřmi laloky. Dva laloky jsou vysílány horizontálně kurzovým majákem, dva vertikálně sestupovým majákem, Navíc máme dva až tři vertikální laloky, vysílané polohovými návěstidly.

2.4.3 Vliv na kmitočtové pásmo 108 – 137 MHz

Systém ILS vysílá v pásmu VKV, přesněji v rozmezí 108 – 112 MHz, tedy ve stejném rozmezí, jako všesměrový maják VOR. Když se podíváme na parametry vysílačů VOR, přesněji na frekvence, na kterých mohou dle ICAO a ITU vysílat, 108 – 117.975 MHz vidíme, že je zde potenciální možnost rušení od systému ILS.

Vše je ovšem navrženo a vymyšleno tak, že radiomajáky VOR vysílají pouze na „sudých“ frekvencích, s roztečí 50 kHz, tedy například 109,050 MHz, zatímco systém přesného přiblížení na přistání pracuje na „lichých“ frekvencích, tedy například 109,150 MHz. Takto je zamezeno případnému rušení. Seznam frekvencí, používaných pro systém ILS najdete v Příloze 2.

Na rozdíl od vysílačů VOR, systém ILS nevysílá na dlouhé vzdálenosti (VOR až 200 NM), ale vysílá pouze v bezprostřední blízkosti letiště. To znamená, že prakticky nemůže nastat situace, kdy by se rušily dva systémy ILS. Pokud je na letišti více systémů ILS pro jednu vzletovou/přistávací dráhu, musí být, podle L10/I, v provozu pouze jeden. Má-li letiště více vzletových/přistávacích drah se systémem ILS v provozu ve stejnou chvíli, musí být tyto systémy odděleny frekvenčně a polohově, aby nedocházelo k vzájemnému rušení.

2.5 Systém TACAN

„Systém TACAN (Tactical Navigation System) sdružuje dálkoměrný systém DME, a systém úhloměrný. Je používán především vojenským letectvem západních států.“
(OHAREK, A. *Zvyšování bezpečnosti a výkonnosti navigace dopravních letadel po trati letu.* str. 13)

Ačkoli nepracuje přímo v rozsahu 108 – 137 MHz, je TACAN často spojován s vysílačem VOR do zařízení, zvaného VORTAC (VOR + TACAN) a je využíván v civilním, ale hlavně ve vojenském letectví, jako způsob měření radiánu a dálky k vysílači TACAN (VORTAC). Dálkoměrné zařízení systému TACAN pracuje na frekvenčním rozsahu 960 - 1215 MHz, úhloměrné na frekvenčním rozsahu vysílačů VOR.

2.5.1 Konstrukce

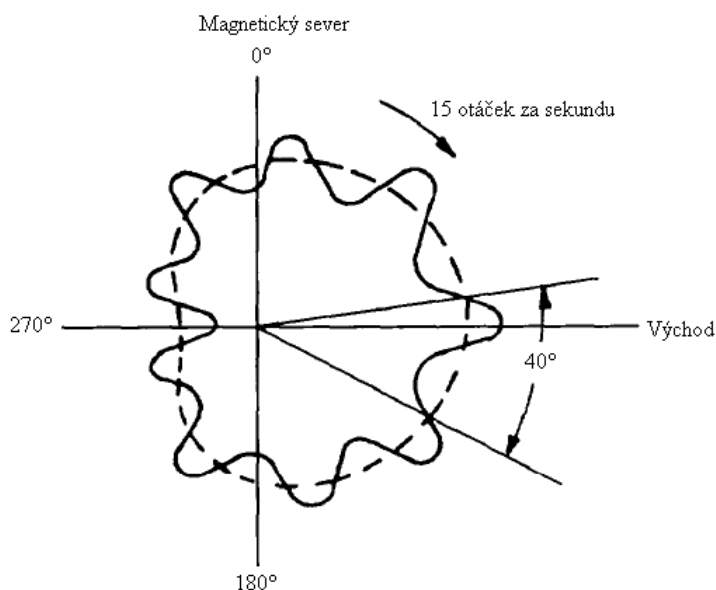
TACAN je vojenský i civilní systém, umožňující měřit jak vzdálenost letadla od vysílače, tak radián, na kterém se letoun vůči němu nachází. V současnosti dochází ke spojování vysílače VOR a zařízení TACAN a to hlavně proto, že systém TACAN není celý certifikován ICAO. Certifikaci ICAO obdržela jen část dálkoměrná (ve své podstatě se jedná o DME), nikoli však úhloměrná.

Jak již tedy bylo řečeno, TACAN se skládá ze 3 hlavních částí: dálkoměrné a úhloměrné a palubního vybavení letadla. Celý systém pracuje na principu impulsních odpovědí na dotazy dálkoměrné (podobně jako u DME) ale zároveň se i otáčí, rychlostí 15 otáček za sekundu, což mu umožňuje vysílat amplitudově modulované impulsy, které si palubní počítač „přeloží“ na informace o radiánu, na kterém se nachází.

Palubní část zařízení se skládá z antény, přijímače, palubního zařízení pro vstup dat (naladění frekvence, zadání radiálu, viz obrázek 1.7) a displaye. Palubní vybavení může ovšem mít mnoho podob, hlavním důvodem je fakt, že se jedná o primárně vojenské zařízení a mnoho technologií je tajných, nebo v civilním letectví nepoužívaných a necertifikovaných.



Palubní část pro vstup a zobrazení údajů systému TACAN SPU-7000.
Obr. 1.7



SVD úhломěrné části systému TACAN.
Obr. 1.8

2.5.2 Princip činnosti

Pokud chceme pochopit princip činnosti zařízení TACAN, musíme nejdříve pochopit princip činnosti dálkoměrného zařízení DME (Distance Measuring Equipment). Vysílač DME na palubě letadla vyšle impulsní dotaz na pozemní stanici – odpovídač. Ten informaci uměle zdrží, nejčastěji o 50ms a odešle ji zpátky k vysílači, který při odeslání začal měřit čas. Pro spočítání šikmé vzdálenosti k zařízení DME vezme palubní vysílač naměřený čas, odečte od něj umělé zdržení, vydělí jej dvěma (cesta k odpovídači a zpátky) a vynásobí výsledný čas rychlostí světla. Získaný čas označujeme Δt .

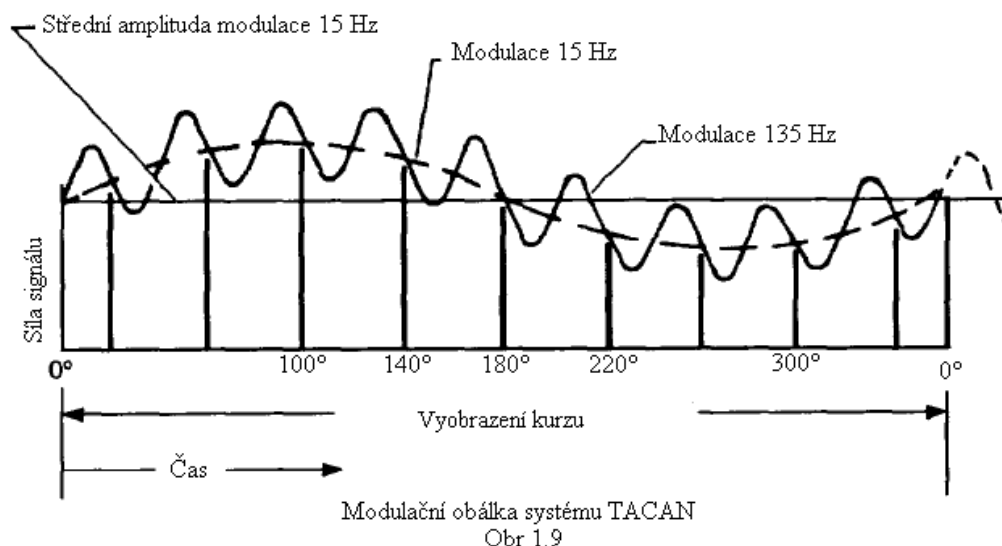
$$\Delta t = \frac{\text{naměřený čas} - \text{umělé zdržení}}{2}$$

$$\text{Šikmá vzdálenost} = \Delta t * c$$

Dálkoměrná část zařízení TACAN tedy funguje prakticky stejně, jako DME. Vysílač odešle dotaz na pozemní odpovídač, pracující v pásmu UKV (UHF), ten odpověď pozdrží o 50ms a následně ji pošle vysílači zpět. Informace je potom přepočítána na informaci o šikmé vzdálenosti, dle vztahů, uvedených výše. Každý pozemní odpovídač má přidělen svůj identifikační kód, kterým se při navázání kontaktu s vysílačem identifikuje.

Úhломěrná část zařízení pracuje na principu amplitudové modulace impulsů, vysílaných odpovídačem. Odpovídač vytváří otáčivé elektromagnetické pole. Toto pole se otáčí rychlostí 15 otáček za sekundu a obsahuje devět laloků (tvar SVD na obrázku 1.8). Poloha letadla vůči

odpovídá se potom určuje z přijatých impulsů, které jsou kombinací amplitudově modulovaného signálu 15 Hz a amplitudově modulovaného signálu 135 Hz, který je dán laloky (Obr. 1.9).



Jak již bylo uvedeno, úhломěrná část systému TACAN není v současnosti certifikována pro civilní letectví (ve vojenském letectví je však využívána). Systém TACAN tedy bývá spojen s vysílači VOR v zařízení, nazvané VORTAC.

2.5.3 Vliv na kmitočtové pásmo 108 – 137 MHz

Můžeme říci, že systém TACAN nemá téměř žádný vliv na pásmo VKV, jelikož vysílače systému TACAN vysílají v pásmu UKV (respektive v rozsahu frekvencí 960 – 1215 MHz). Tento systém jsem v této bakalářské práci popisoval hlavně z důvodu jeho spojení s vysílači VOR, kdy je informace od vysílače VOR přenášena spolu s informacemi systému TACAN

3 ROZDĚLENÍ A VLASTNOSTI PÁSMO 108 – 137 MHz - KOMUNIKAČNÍ PRVKY

V pásmu 108 – 137 MHz se kromě radionavigačních zařízení používá i systém palubních radiostanic, který je pro leteckou přepravu velmi důležitý a v současné době nenahraditelný.

Letecké radiostanice fungují ve vrchní části spektra mezi frekvencemi 118 – 137.975 MHz a zajišťují spojení a komunikaci letadlo-letadlo a zem – letadlo.

3.1 Komunikační prostředky VKV

Mimo radionavigačních prostředků, v letectví používaných, se v pásmu VKV také vysílá pomocí leteckých i komerčních radiostanic. Právě pásmo VKV získalo velkou oblibu díky svým fyzikálním vlastnostem – šíření signálu přímou vlnou, malé ekonomické nároky na provoz, pouze malé rušení okolním prostředím a další.

Podle Mezinárodní Telekomunikační Únie (MTÚ/ITU) dělíme telekomunikační služby, v letectví na čtyři části:

- Leteckou pevnou službu
- Leteckou pohyblivou službu
- Leteckou radionavigační službu
- Leteckou rozhlasovou službu

Letecká pevná služba je telekomunikační služba mezi přesně stanovenými pevnými body. Slouží především pro zajištění bezpečnosti leteckého provozu. Typickým případem jsou dvě radiostanice, umístěné na dvou různých letištích, které spolu komunikují ohledně leteckého provozu (předávají si informace o letadlech). Nemusí se ovšem nutně jednat o komunikaci hlasem, v současnosti se spíše používá komunikace datová.

Letecká pohyblivá služba je pohyblivá telekomunikační služba, sloužící pro spojení pohybující se stanice a stanice pozemní, případně stanic pohybujících se. Pohybující se stanice může být buď letoun, nebo například auto, pohybující se na letišti. Tato služba je určena především pro předávání zpráv mezi pozemním pracovištěm (letištní věž, radar...) a letounem, případně mezi dvěma letadly.

Letecká radionavigační služba je pevná nebo pohyblivá navigační služba, která poskytuje nějaký druh navigační informace letounům. Může se jednat například o radiomajáky VOR, systém ILS a další. Hlavním účelem těchto systémů je poskytovat informace o poloze vůči trati a zajistit bezpečnost provozu.

Letecká rozhlasová služba je služba, sloužící k vysílání informací, sloužících leteckému provozu, nebo se ho týkajících.

3.1.1 Konstrukce

Současné letecké radiostanice fungují na principu „obyčejného“ rádia.

Rádio (odborně telekomunikační zařízení pro jednosměrný přenos zvuku na dálku) je zařízení, využívající ke své činnosti rádiové vlny. Tyto vlny jsou využity pro jednostraný přenos informací z vysílače k přijímači (vysílací stanice k přijímací stanici) a jsou dále zpracovávány přijímačem. Výstupem bývá většinou zvuk.

Během prvního rozmachu v letectví se rychle přišlo na to, že je nutno mít nějaký komunikační prostředek, kterým by se posádka pozemní stanice mohla spojit s letounem a předat jim potřebné informace. Do té doby se komunikace zem – vzduch prováděla vizuální signalizací ze země předem domluvenými signály. Tento systém se příliš neuchytil, provozovatelé letadel postupně přecházeli nejdříve na komunikaci pomocí telegrafu a morseovy abecedy, později na komunikaci pomocí palubní vysílačky.

První palubní radiostanice byly zaváděny po první světové válce a obvykle měly nízký výkon a nebyly příliš spolehlivé. Postupem času se stanice vyvíjely, až dosáhly současné podoby. Současný radiokomunikační systém se tedy skládá z pozemní a letecké části.

Letecká i pozemní radiostanice je složena z několika hlavních součástí:

- vysílače
- přijímače
- palubní/pozemní vybavení (stanice, modulující signál do vysílané podoby)
- ovládací panel (pro volbu na nastavení frekvencí)
- audiovizuální zařízení (mikrofon a sluchátka)

Hlavní rozdíl mezi pozemní a leteckou stanicí (z hlediska funkce) je fakt, že pozemní radiostanici je většinou pevná vysílací frekvence přidělena únií ITU a tato tedy vysílá a přijímá pouze na jí určené frekvenci, zatímco letecká stanice si může frekvenci pro přijímání a vysílání svého signálu volit v rámci rozsahu své stupnice.

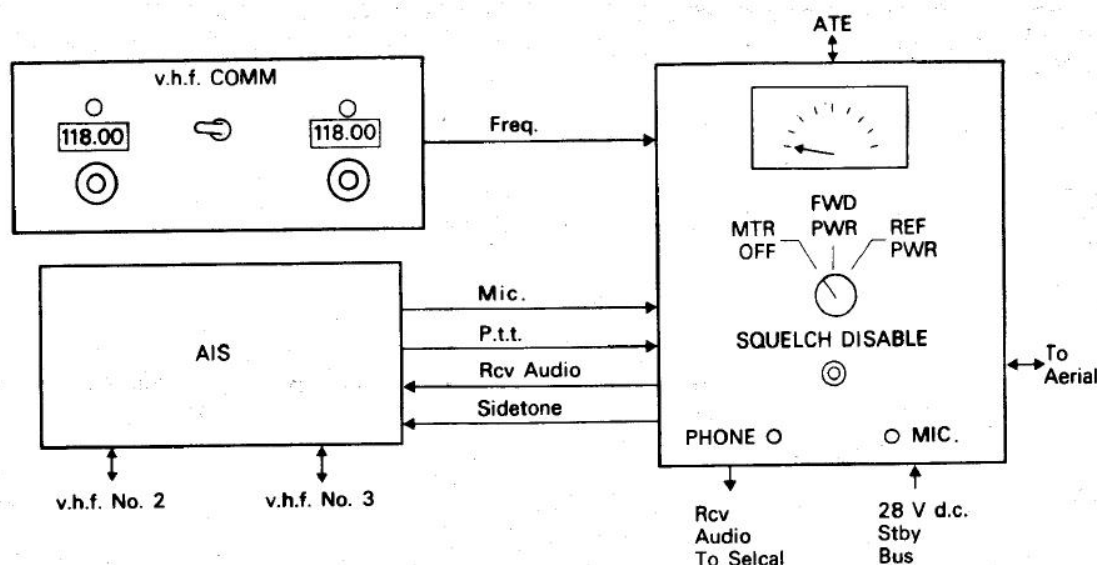


Schéma zapojení radiostanice VKV
Obr 2.1

S rozvojem letecké dopravy přestávaly stačit kanály pro vysílání na nízkých, středních a vysokých frekvencích (30 kHz – 30 MHz) a bylo tedy nutno přecházet na vysílání v pásmu velmi vysokých frekvencí (VHF). Naštěstí rozvoj radiostanic a rádiového vysílání během druhé světové války přinesl potřebný pokrok, umožňující postupný přechod. Tento přechod ovšem neznamenal zánik rádiové komunikace v pásmech nižších frekvencí. Pro příklad – v roce 1985 bychom v Boeingu 747 našli celkem tři rádia, používající VHF a duální rádio, využívající HF, což mělo důvod ve fyzikálních vlastnostech krátkých vln HF frekvencí. Krátké vlny mají totiž větší operační dosah, což nám umožňuje komunikaci na delší vzdálenosti, než při použití radiostanice VHF. Na druhou stranu jsou krátké vlny ovlivňovány okolními vlivy více, než vlny dlouhé, což se negativně projeví na kvalitě spojení s druhou stranou. Z důvodu přílišné náročnosti správného ovládání radiosystému byl v posádce již zmíněného Boeingu 747 obvykle i palubní radiofonista, který spojení s pozemními stanicemi zajišťoval.



Radiostanice Garmin GTR 200
Obr 2.2

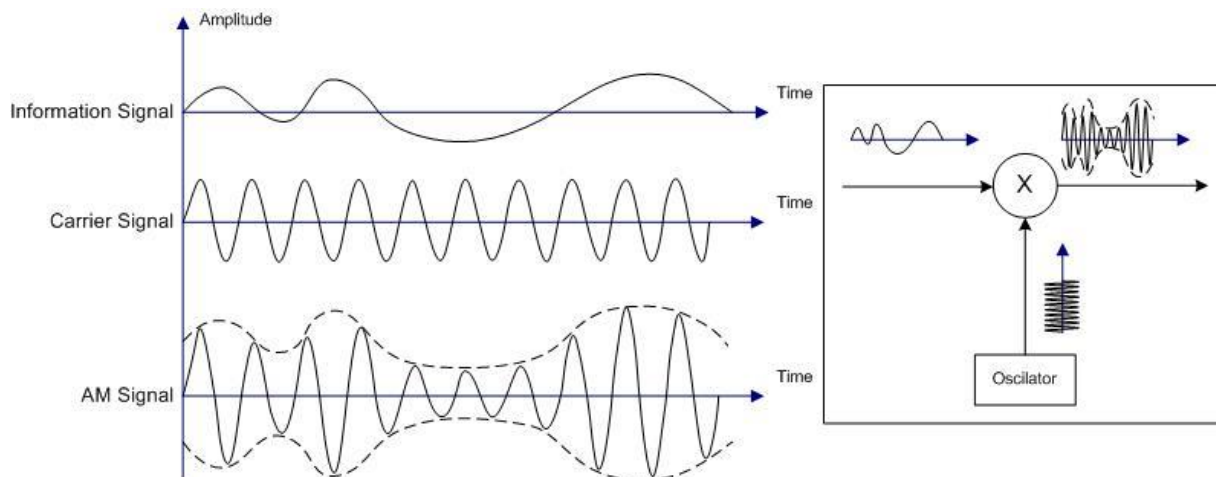
3.1.2 Princip činnosti

Chceme-li pochopit princip činnosti leteckých radiostanic, musíme si nejdříve vysvětlit princip rádia, jako takového.

Vysílač (anglicky „transmitter“) se skládá ze zdroje napětí, oscilátoru, modulátoru, zesilovače a antény. Nejdříve dodá zdroj napětí potřebný proud oscilátoru, který tento proud změní na proud střídavý. Tento proud (signál) dále míří do modulátoru, který do tohoto signálu namoduluje námi přenášené informace. Může se jednat o audio (potom hovoříme o rádiu), video i audio (potom hovoříme o televizním přenosu), nebo data (například bezdrátové počítačové sítě – WiFi – fungují na tomto principu). Sínál z modulátoru dále jde do zesilovače, který jej zesílí a pustí do antény, která jej začne vysílat, jako rádiové vlny.

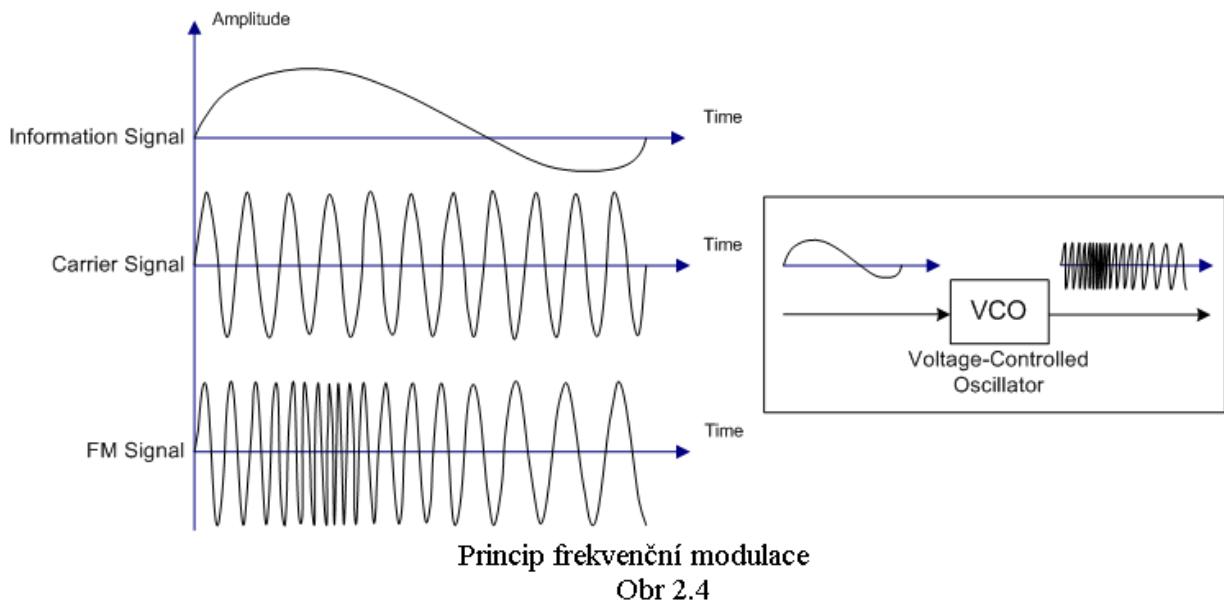
Modulace signálu je důležitá část celé procedury vyslání signálu. Modulace je ve své podstatě změna tvaru nosné vlny tak, aby odpovídala parametrům, které od nosné vlny očekáváme. Při vysílání rádiových vln v současnosti používáme dva druhy modulace – AM a FM.

AM, neboli amplitudová modulace, je taková modulace, při které se mění (v závislosti na změně modulačního signálu) amplituda signálu nosného. Jedná se o nejdéle používanou modulaci signálu, která ale není v současnosti příliš používána. Hlavními výhodami této modulace je větší dosah a malá energetická náročnost, což vychází z fyzikálních vlastností středovlnného vysílání. Hlavními nevýhodami pak horší kvalita přijímaného signálu a relativně velký vliv terénu na přenášený signál.



Princip amplitudové modulace
Obr 2.3

FM, neboli frekvenční modulace, je taková modulace, kde je závislá frekvence nosné vlny na změnách amplitudy vlny modulační. Frekvenční modulace je více náročná na provoz a nastavení (pro frekvenční modulaci vlny potřebujeme více energie), ale signál je méně ovlivňován terénem a příjem je kvalitnější.



Přijímač se skládá z antény, RF zesilovače, tuneru, detektoru, zesilovače audio signálu a reproduktoru. Nejdříve anténa přijímače zachytí rádiové vlny od vysílače. Takto zachycené vlny jsou následně poslány do RF zesilovače, který přijatý signál zesílí a odešle jej do tuneru. Tuner detekuje a vybere vlny na frekvenci, na kterou je nastaven. Je-li tedy tuner například nastaven na 108 MHz pošle dále do detektoru pouze signál s frekvencí 108 MHz. V detektoru je signál analyzován a je rozpoznáno, zda obsahuje nějaké informace (zvuk, obraz, data). Tyto informace (v tomto případě zvuk – audio) jsou dále poslány do audio zesilovače, který je zesílí a pošle do reproduktoru (např. sluchátek pilota), kde je výsledný zvuk přehráván.

V letectví je pozemní i letecká stanice vybavena jak vysílačem, tak přijímačem. Když tedy pozemní stanice vyšle hlasové vysílání letadlu, je toto vysílání FM modulováno a odesláno. V letadle je přijato a přehráno pilotovi. Pilot může na tuto zprávu hned odpovědět a jeho odpověď je odeslána pozemnímu přijímači. Pozemní přijímač přijatou zprávu demoduluje a tato zpráva je následně přehrána řídícímu.

Dosah rádia se počítá ze vzorce pro přímou viditelnost dvojice vysílač – přijímač. Jedná se o stejnou rovnici, kterou počítáme například předpokládaný dosah například vysílačů VOR.

$$R = 1,23 * (\sqrt{Ht} + \sqrt{Hr}) [NM, ft, ft]$$

R – Výsledný dosah (z anglického slova „range“), jednotky námořní míle *NM*

Ht – Nadmořská výška vysílače (z anglického „height of transmitter“), jednotky stopy *ft*

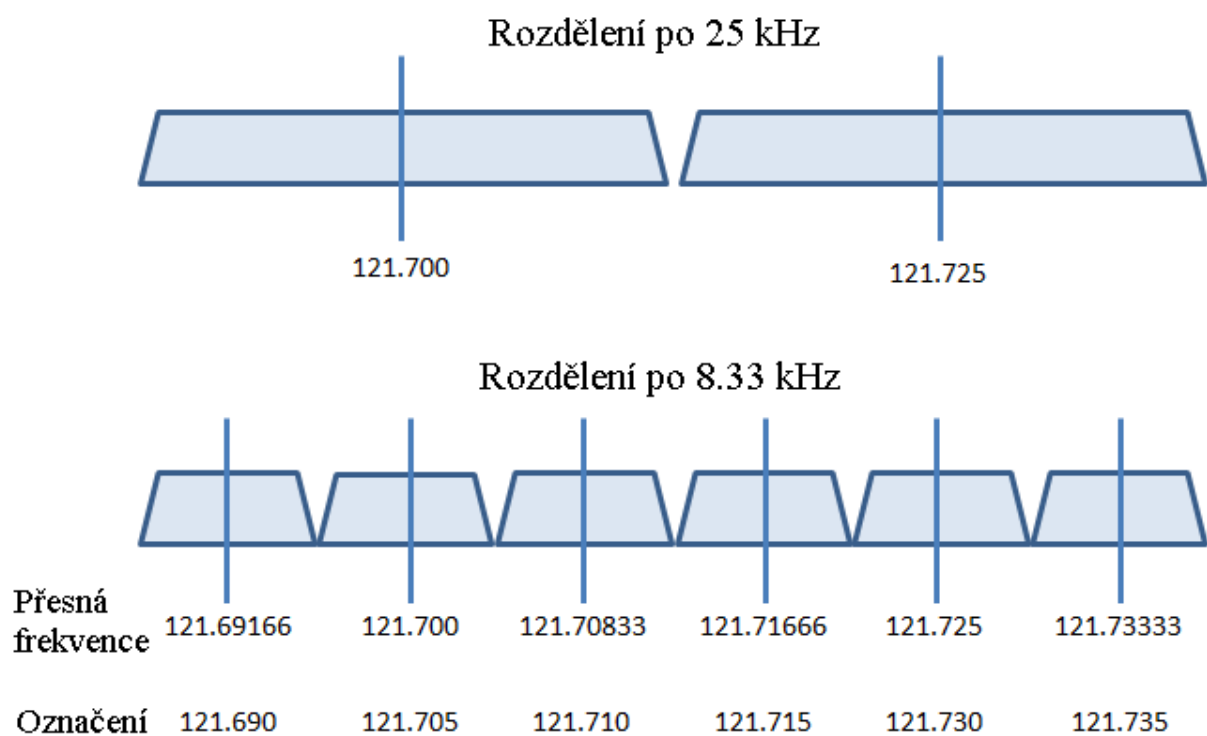
Hr – Nadmořská výška přijímače (z anglického „height of receiver“), jednotky stopy *ft*

1,23 – Konstanta pro použití stop pro výpočet. Pokud bychom chtěli použít pro výpočet metry, použijeme konstantu 3,57 místo 1,23.

3.1.3 Vliv na kmitočtové pásmo 108 – 137 MHz

Rádiový přenos v pásmu VKV je prvním druhem přenosu, který byl v pásmu VKV zaveden. Abychom pochopili vliv na kmitočtové pásmo 108 -137 MHz, tak si nejdříve musíme vysvětlit, jak je (pro rádiovou komunikaci) toto pásmo rozděleno. Pro rádiovou komunikaci používáme rozsah 118 – 137.975 MHz, který si dále rozdělujeme na tzv. kanály.

Tyto kanály jsou způsobem dělení pásma a setkáme se s nimi jak u radiostanic, tak u radionavigačních zařízení (např. VOR). Donedávna byla v rádiové komunikaci zavedena šířka kanálu 25 kHz, které nám dávalo možných 760 kanálů. V roce 2016 byl zahájen přesun na šířku kanálu 8.33 kHz, které by umožnilo použití 2280 kanálů, místo dosavadních 760. Tento přesun ovšem nutí provozovatele letounů modernizovat svoji radiostanici, jelikož stanice, které jsou nastaveny na šířku kanálu 25 kHz nejsou schopny správně vysílat a přijímat na 8.33 kHz. Samotným vysíláním se šířkou kanálu 25 kHz by totiž zabíraly celkem 3 kanály, které jsou jinak využitelné pro vysílání na 8.33 kHz.



Změna šířky kanálu po přechodu z 25kHz na 8.33 kHz
Obr 2.5

4 ZÁVĚR

Radionavigační a komunikační prostředky v civilním letectví se neustále zdokonalují. V současnosti jsme například svědky přechodu z šířky kanálů 25 kHz na šířku 8.33 kHz, kdy se v celé Evropě hromadně mění konstrukce radiostanic a musí se zároveň i měnit palubní radiostanice letadel tak, aby měly požadované vlastnosti. Pilot i provozovatel tedy musí být o každé změně informován, aby se mohl dostatečně dopředu připravit a nastudovat si veškeré informace, týkající se problematiky.

Tato bakalářská práce by měla sloužit všem stávajícím i budoucím pilotům a odborné veřejnosti v lepším pochopení radionavigačních systémů, jako je VOR, TACAN a ILS, jakožto i porozumění fungování letecké radiostanice. V práci jsem tyto systémy podrobně rozebral, vysvětlil jejich princip a funkci a uvedl příklady využití tak, aby si čtenář mohl funkci zařízení představit.

Práce byla koncipována jako učební text pro současné a nastávající piloty letadel, ale i pro čtenáře z řad odborné veřejnosti, kteří by se rádi přiučili o leteckých radionavigačních zařízeních. Čtenářům bych rozhodně doporučil prostudovat literaturu ze seznamu použité literatury, ať už v tištěné nebo elektronické podobě, ve které se nachází detailnější rozbor popisovaných zařízení, který bohužel přesáhl rámec této bakalářské práce.

Seznam použité tištěné odborné literatury:

[1] VOSECKÝ, Slavomír. *Radionavigace (062 00 00 00): učební texty pro teoretickou přípravu dopravních pilotů dle předpisu JAR-FCL 1*. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2011. ISBN 978-80-7204-764-2.

[2] STAVOVČÍK, Boleslav. *Obecná navigace (061 00)*. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2008. Učební texty pro teoretickou přípravu dopravních pilotů dle předpisu JAR-FCL 1. ISBN 978-80-7204-576-1.

[3] VOLNER, Rudolf. *Letecká radiotechnika – fyzikální základy a nomogramy*. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2007. ISBN 978-80-7204-510-5.

[4] OHAREK, A. *Zvyšování bezpečnosti a výkonnosti navigace dopravních letadel po trati letu*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2009. 78 s. Vedoucí diplomové práce doc. Ing. Slavomír Vosecký, CSc.

[5] SOLDÁN, Vladimír, ing.: *Postupy pro lety podle přístrojů*, Praha, Řízení letového provozu ČR, s.p. Letecká informační služba, 2000, 166s.

[6] P. Dvořáček: *Rádiové spojení*. Scriptum, VŠB-TU Ostrava 2002. 64 str.

[7] POWELL, James. *Aircraft radio systems*. Casper, WY: IAP, 1981. ISBN 978-08-9100-356-4.

[8] KOLEKTIV AUTORŮ. *JAA PPL Navigation and Radio Aids*. U.S.A: JAA, 2007. ISBN 978-0955517723.

[9] JAA ATPL, 062 Radionavigation, Theoretical Knowledge Manual, Oxford, 2006

[10] VOSECKÝ, S. a kol.: *Základy leteckých navigačních zařízení I a II*, učebnice Univerzity obrany, Brno 1988 (CS)

[11] KAYTON, M., FRIED, W.R.: Avionics Navigation Systems, John Wiley & Sons, ISBN 0 – 471 –54795 – 6, New York 1996 (EN)

[12] BOWDITCH, Nathaniel. *The American practical navigator: an epitome of navigation*. 2002 bicentennial ed. Washington, DC: For sale by the Supt. of Docs., U.S. G.P.O., 2002. Pub. (United States. National Imagery and Mapping Agency), 9. ISBN 0-939837-54-4.

Seznam použité elektronické odborné literatury:

[1] *CNS MANUAL*. JANA, UJJWAL KUMAR, 2013. [Online]. [cit. 15.4.2017].

Dostupné z:

http://www.aaians.org/sites/default/files/CNS%20Documents/KATIHAR_2013.pdf

[2] *ITU Radio Regulations, Edition of 2012*, Printed in Switzerland, Geneva, 2012, ISBN 978-92-61-14021-2 [cit. 20.3.2017]. Dostupné z:

<http://search.itu.int/history/HistoryDigitalCollectionDocLibrary/1.41.48.en.101.pdf>

[3] *Operational Notes on VHF Omni Range (VOR) Contents*. [Online]. Australia: Civil Aviation Safety Authority, 2016- [cit. 20.3.2017]. Dostupné z:

<https://www.casa.gov.au/file/151181/download?token=hFnAWoNr>

[4] “The VOR” by Joe Campbell, December 1995- [cit. 20.3.2017]. Dostupné

z <http://www.campbells.org/Airplanes/VOR/vor.html>

[5] *Electronics Technician Volume 5 - Navigation Systems* [Online]. U.S.A: Naval Supply Systems Command, 1994- [cit. 11.3.2017]. Dostupné z:

<https://maritime.org/doc/pdf/et5.pdf>

[6] *Radio Navigational Aids (Publication No. 117)* [Online]. Maryland, U.S.A: National Geospatial Intelligence Agency, 2014- [cit. 8.3.2017]. Dostupné z:

http://msi.nga.mil/MSISiteContent/StaticFiles/NAV_PUBS/RNA/Pub117bk.pdf

[7] Letecký předpis L10 O civilní telekomunikační službě. In: *Ministerstvo dopravy České republiky*, 2003. Dostupné z: <https://lis.rlp.cz/predpisy/predpisy/index.htm>

Seznam použitých zkratk česky:

| | |
|-----------------|--|
| AM | Amplitudová modulace |
| CDI | Indikátor odchylky od trati |
| CVOR | Konvenční VOR |
| DME | Zařízení, měřící šikmou vzdálenost od vysílače k přijímači |
| DVOR | Doplerovský VOR |
| FM | Frekvenční modulace |
| FMC | Počítač systému řízení letu |
| FMS | Systém řízení letu |
| GP ILS | Sestupová rovina ILS |
| HF | Pásmo krátkých vln |
| Hz | Hertz |
| ICAO | Mezinárodní organizace pro civilní letectví |
| ILS | Systém pro přistání podle přístrojů |
| IM | Vnitřní marker |
| ITU | Mezinárodní telekomunikační unie |
| kHz | Kilohertz |
| km | Kilometr |
| km ² | Kilometr čtvereční |
| LLZ ILS | Lokalizér ILS |
| m | metr |
| MHz | Megahertz |
| MM | Střední marker |
| OBS | Selektor tratí, radiálů |
| OM | Vnější marker |
| QDM | Magnetický kurz od přijímače k vysílači |
| QDR | Magnetický kurz od vysílače k přijímači |
| RF | Rádiové vlny |
| rpm | Otáčky za minutu |
| SVD | Směrový vyzařovací diagram |
| TACAN | Taktická letecká navigace |
| UHF / UKV | Ultra krátké vlny |
| VHF / VKV | Velmi krátké vlny |
| VOR | Všesměrový maják VKV |
| VORTAC | Kombinace systémů VOR a TACAN |
| WiFi | Bezdrátová komunikace v počítačových sítích |

Seznam použitých zkratk anglicky:

| | |
|-----------------|---|
| AM | Amplitude Modulation |
| CDI | Course Deviation Indicator |
| CVOR | Conventional VOR |
| DME | Distance Measuring Equipment |
| DVOR | Doppler VOR |
| FM | Frequency Modulation |
| FMC | Flight Management Computer |
| FMS | Flight Management System |
| GP ILS | Glide Path ILS |
| HF | High Frequency |
| Hz | Hertz |
| ICAO | International Civil Aviation Organization |
| ILS | Instrumental Landing System |
| IM | Inner Marker |
| ITU / MTÚ | International Telecommunication Union |
| kHz | Kilohertz |
| km | Kilometer |
| km ² | Square kilometer |
| LLZ ILS | Localizer ILS |
| m | Meter |
| MHz | Megahertz |
| MM | Middle Marker |
| OBS | Omni Bearing Selector |
| OM | Outer Marker |
| QDM | Magnetic direction from receiver to transmitter |
| QDR | Magnetic direction from transmitter to receiver |
| RF | Radio Frequency |
| rpm | Revolutions per minute |
| SVD | Radiation pattern |
| TACAN | Tactical Air Navigation System |
| UHF / UKV | Ultra High Frequency |
| VHF / VKV | Very High Frequency |
| VOR | VHF Omni Directional Radio Range |
| VORTAC | Combination of VOR and TACAN systems |
| WiFi | Wireless local area networking |

Seznam použitých obrázků:

Obrázek 1.1: [1]

Obrázek 1.2: https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/3/32/Vor_indicator.png

Obrázek 1.3: <https://de.wikipedia.org/wiki/Datei:Nienburg.jpg>

Obrázek 1.4: [3]

Obrázek 1.5: http://www.airservicesaustralia.com/wp-content/uploads/ILS_web1.png

Obrázek 1.6: https://cs.wikipedia.org/wiki/Instrument_Landing_System

Obrázek 1.7: <https://www.goo.gl/tewk1D>

Obrázek 1.8: [5]

Obrázek 1.9: [5]

Obrázek 2.1: [7]

Obrázek 2.2: <https://buy.garmin.com/en-US/US/p/140495>

Obrázek 2.3: https://en.wikipedia.org/wiki/Amplitude_modulation

Obrázek 2.4: <https://www.goo.gl/WztuF8>

Obrázek 2.5: <http://www.discriminator.nl/images/25%20en%20833.png>

Seznam příloh:

Příloha 1: Seznam vysílačů VOR, DME a NDB na území České republiky.

Příloha 2: Seznam párů frekvencí, použitelných pro systém přesného přiblížení na přistání ILS.